

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2002年5月16日 (16.05.2002)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 02/39574 A1

(51) 国際特許分類: H02P 5/00

(21) 国際出願番号: PCT/JP00/07701

(22) 国際出願日: 2000年11月1日 (01.11.2000)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

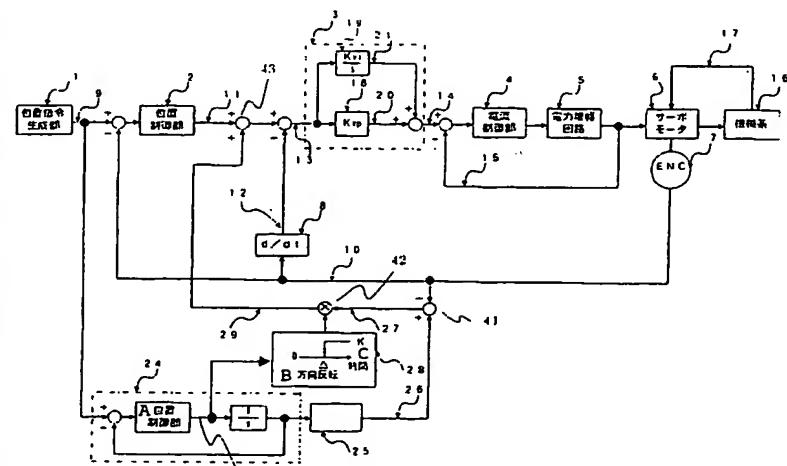
(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 筒井和彦 (TSUTSUI, Kazuhiko) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(54) Title: SERVO CONTROLLER AND METHOD

(54) 発明の名称: サーボ制御方法及びその装置



33 1...POSITION COMMAND ISSUING SECTION  
2...POSITION CONTROL SECTION  
4...CURRENT CONTROL SECTION  
5...POWER AMPLIFYING CIRCUIT  
6...SERVO MOTOR  
16...MECHANICAL SYSTEM  
A...POSITION CONTROL SECTION  
B...DIRECTION REVERSE  
C...TIME

(57) Abstract: The variation of the correction effect due to variation with time of friction and the difference of machining conditions is suppressed by calculating an ideal position based on an ideal servo system model, multiplying the difference between the calculated ideal position and an actual position feedback by a specified gain only for a specified time after the direction of the ideal position is reversed, and adding the result, as a correction, to a speed command. Even in a mechanical system where the torsion of a ball screw and the elastic variation of a sealing material are great, biting due to back torsion after correction is suppressed and a servo system is prevented from being unstable.

WO 02/39574 A1

[統葉有]



## (57) 要約:

理想的なサーボ系モデルに基づいて理想的な位置を演算し、この演算した理想位置と実際の位置フィードバックとの差分に、理想位置の方向反転時から所定の間のみ、所定のゲインを乗じ、これを速度指令に補正量として加えることにより、摩擦量の経年変化の影響や加工条件の違いによる補正効果のバラツキを抑え、またボールネジのねじりやシール材などの弾性変化が大きい機械系においても、補正後のねじり戻しなどによる食い込みを抑制するとともに、サーボ系が不安定になることを防ぐ。

## 明細書

## サーボ制御方法及びその装置

## 5 技術分野

この発明は、CNC工作機械等を駆動するサーボモータを制御する方法及びその装置に関するものである。

## 背景技術

10 CNC工作機械は、通常、サーボモータが駆動用のボールねじを回転させることによってワークを固定するテーブルを移動させるようになっているため、例えば円弧切削を行う場合、よく知られているように、ボールねじのバックラッシュや機械各部の摩擦等によって、テーブルの移動方向が即座に切り替わらず、ワークの切削面には、象限境界付近に象限突起と呼ばれる突起が生じ、加工精度が低下するという問題がある。

第9図は、このような象限突起の発生等を防止しようとする従来のサーボ制御装置のブロック図を示したものである。第9図において、1は位置指令生成部、2は位置制御部、3は速度制御部、4は電流制御部、5は電力増幅回路、6は機械系16を駆動するサーボモータ、7はサーボモータ6の回転位置を検出するエンコーダ、8はエンコーダ7の出力する位置検出信号10を微分して速度を算出する微分手段である。なお、エンコーダ7及び微分手段8によりモータ速度の検出手段が構成される。9は位置指令生成部1から出力される位置指令、10はエンコーダ7から出力される位置検出信号である位置フィードバック、11は位置制御部2から出力される速度指令、12は微分手段8から出力される速度検出信号である速度フィードバック、13は速度指令11と速度フィードバック12との差分である速度偏差信号、14は速度制御部3から出力される電流指令、15

はサーボモータ6に流れる電流を示す電流フィードバック信号、16はサーボモータ6により駆動されるCNC工作機械等の機械系、17は機械系16からサーボモータ6に加わる反力や、摩擦による負荷トルク、18は速度制御部3における速度比例制御部、19は速度制御部3における速度積分制御部、20は速度比例制御部18の出力する比例項分指令、21は速度積分制御部19の出力する積分項分指令で、比例項分指令20に加算されることにより電流指令14となる。  
5

また、22は摩擦などの影響でサーボモータ6、あるいは機械の方向反転時に発生する指令位置に対する誤差を抑制し、円弧切削を行う場合の象限突起の発生等を防止する補正信号生成部であり、23は補正信号生成部22の出力する電流指令補正信号(補正值)である。  
10

従来装置では、摩擦量に相当する補正值23をサーボモータ6の方向反転時に加えており、その補正量は予めパラメータとして設定されているものを使用したり、メモリに記憶された送り速度や加速度の条件毎の最適値を使用している。また、場合によっては、補正量を時間の関数で加えたり、移動量や送り速度の関数で加えたりしていた。  
15

ところがこのような従来のサーボ制御装置では、上記補正量として機械調整時に予め所定の条件における最適値を決定する必要があるが、この方向反転時の誤差要因である摩擦量などは経年変化や、機械位置などの条件の違いによる変化が大きく、最適な補正量を決定することが難しかった。  
20

また、仮に補正量を決定しても時間が経つにつれ最適な効果が得にくいなどの問題があった。

更にまた、ボールネジのねじりやシール材(油等がサーボモータ側に浸入しないよう、サーボモータ等の軸周囲に摺動自在に設けられるもので、外周部が基体部に固定される)などの弾性変化が大きい機械系においては、方向反転時に発生する追従遅れによる誤差(象限突起)については補正できても、その  
25

後のねじり戻しなどによる食い込みを抑制することはできなかった。第10図はボルネジにねじりやシール材などの弾性変化が大きい機械系における補正前の方向反転時の挙動をシミュレーションしたものであり、(a)が真円精度を、(b)が方向反転時における速度と電流波形を示している。このような機械系において、第9図に示す従来の補正を行なった結果が第11図である。なお、第11図において、(a)が真円精度を、(b)が方向反転時における速度と電流波形を示している。

従来補正においては、方向反転から距離に応じて徐々に補正量を増やしていく等の方向反転時に摩擦量に対応した補正值を加えているが、機械系のねじりなどの弾性をもった系に適用した場合には、第11図に示すように、瞬間的にはその補正值が過補正になる場合があり、そのような場合であってもその補正值を変更する手段がないため食い込みが発生している。

また他の従来のサーボ制御装置として、第12図に示すものがあった。

この第12図に示すものは、特開平1-276315号公報に開示されている発明で、図中、 $X_c$ は位置指令、101は位置指令 $X_c$ と位置検出器106の出力信号 $X$ とを比較して減算を行い、その偏差 $E$ を出力する減算器、102は偏差 $E$ を增幅して速度指令 $V$ を出力する増幅器、103は入力する速度指令 $V$ に応じてサーボモータ104への駆動出力を制御する速度制御器、105はサーボモータ104の駆動によって、例えば加工用工具の移動あるいは被加工物を載置する加工テーブルの移動等が行われる加工機械、106は加工機械105における上記移動体の位置を検出する位置検出器、107は理想位置演算器である。なお、この理想位置演算器107は、位置指令 $X_c$ と理想位置 $X_i$ との偏差 $E_i$ を出力する減算器108、偏差 $E_i$ を增幅して速度信号 $V_i$ を出力する増幅器109、及び速度信号 $V_i$ (速度指令)を時間積分して、理想位置に対応する理想位置信号 $X_i$ を出力する積分器110から構成されている。

また、111は偏差 $E_i$ と偏差 $E$ との偏差を出力する減算器、112は減算器111

が出力する偏差に補正ゲインを乗じる増幅器、113は速度指令Vに補正ゲインを乗じた偏差を加える加算器である。

そしてこのサーボ制御装置は、位置検出器106が検出した位置が理想位置より進んでいるときは、速度指令Vを減じるように、また逆に遅れているときは、  
5 速度指令Vを増加させるように、理想位置と実位置との誤差にゲインを掛け増幅したものを速度指令Vに加算している。

ところが、この第12図に示すものは、方向反転時に限らず、常に理想位置と実位置との誤差を増幅して補正を加えているため、機械共振や振動を誘発しやすく不安定であり、安定性を重視したゲイン設定とすると方向反転時に発生

10 する追従遅れによる誤差の抑制が十分にできないなどの問題点があった。第1

3図は、第11図に示したボールねじにねじりやシール材などの弾性変化が大きい機械系に、特開平1-276315号公報に開示されている発明における補正を行った場合の挙動をシミュレーションしたものである。第13図中、(a)が真円精度を、(b)が方向反転時における速度と電流波形を示したものであるが、機械振動を誘発しやすく、位置や速度・電流波形が振動的になっており、また、  
15 真円精度における象現突起も比較的大きく残ってしまっている。

## 発明の開示

この発明は上記の問題点を解決するためになされたもので、摩擦量の経年変化の影響や加工条件の違いによる補正効果のバラツキを抑え、また、ボールねじのねじりやシール材などの弾性変化が大きい機械系においても、補正後のねじり戻しなどによる食い込みを抑制することが可能で、しかも補正によりサーボ系が不安定になるのを防止できるサーボ制御方法及びその装置を提供しようとするものである。

そこでこの発明に係るサーボ制御方法は、位置指令と実際の位置フィードバックとの差分に基づいて速度指令を生成するとともに、この速度指令と実際の

速度フィードバックとの差分に基づいて電流指令を生成し、この電流指令に基づいてサーボモータを制御するサーボ制御方法において、理想的なサーボ系モデルに基づいて理想的な位置を演算し、この演算した理想位置と実際の位置フィードバックとの差分に、理想位置の方向反転時から所定の間のみ、所定のゲインを乗じ、これを上記速度指令に補正量として加えるものである。  
5

またこの発明に係るサーボ制御方法は、上記ゲインを、理想位置の方向反転時に最大値として、所定の時間で減衰するものとしたものである。

またこの発明に係るサーボ制御方法は、理想位置の方向反転時における理想位置と実際の位置フィードバックとの差分をオフセット値として記憶するとともに、このオフセット値にて上記差分を減算し、この減算したものに上記ゲインを乗じるものである。  
10

またこの発明に係るサーボ制御方法は、位置指令と実際の位置フィードバックとの差分に基づいて速度指令を生成するとともに、この速度指令と実際の速度フィードバックとの差分に基づいて電流指令を生成し、この電流指令に基づいてサーボモータを制御するサーボ制御方法において、理想的なサーボ系モデルに基づいて理想的な位置を演算し、この演算した理想位置の方向反転時から所定の間のみ、上記位置フィードバックあるいは理想的なサーボ系モデルの累積位置に所定のゲインを乗じ、これを上記電流指令に補正量として加えるものである。  
15

またこの発明に係るサーボ制御方法は、理想位置の方向反転時から所定の間のみ、上記速度フィードバックあるいは理想的なサーボ系モデルの速度に所定のゲインを乗じ、これを上記電流指令に補正量として加えるものである。  
20

またこの発明に係るサーボ制御方法は、上記ゲインに、理想位置と実際のフィードバック位置との差分に比例した係数を用いるものである。

またこの発明に係るサーボ制御装置は、サーボモータの位置及び速度を検出する手段と、位置指令と実際の位置フィードバックとの差分に基づいて速度  
25

指令を生成する位置制御部と、上記速度指令と実際の速度フィードバックとの差分に基づいて電流指令を生成する速度制御部と、上記電流指令に基づいてサーボモータに流す電流を制御する電流制御部とを備え、上記サーボモータを制御するサーボ制御装置において、理想的なサーボ系モデルと、このモデルが演算した理想位置と実際の位置フィードバックとの差分信号を出力する減算手段と、この減算手段より出力された誤差信号に、理想位置の方向反転時から所定の間のみ、所定のゲインを乗じ、これを上記速度指令に補正量として加える手段とを備える構成としたものである。

またこの発明に係るサーボ制御装置は、上記ゲインを、理想位置の方向反転時に最大値として、所定の時間で減衰するものとしたものである。

またこの発明に係るサーボ制御装置は、理想位置の方向反転における理想位置と実際の位置フィードバックとの差分をオフセット値として記憶する記憶手段と、この記憶手段に記憶されたオフセット値にて上記差分を減算する減算手段と、この減算手段にて減算されたものに、上記ゲインを乗じる構成としたものである。

またこの発明に係るサーボ制御装置は、サーボモータの位置及び速度を検出する手段と、位置指令と実際の位置フィードバックとの差分に基づいて速度指令を生成する位置制御部と、上記速度指令と実際の速度フィードバックとの差分に基づいて電流指令を生成する速度制御部と、上記電流指令に基づいてサーボモータに流す電流を制御する電流制御部とを備え、上記サーボモータを制御するサーボ制御装置において、理想的なサーボ系モデルと、このモデルの理想位置の方向反転時から所定の間のみ、上記位置フィードバックあるいは理想的なサーボ系モデルの累積位置に所定のゲインを乗じ、これを上記電流指令に補正量として加える手段とを備える構成としたものである。

またこの発明に係るサーボ制御装置は、上記モデルの理想位置の方向反転時から所定の間のみ、上記速度フィードバックあるいは理想的なサーボ系モ

ルの速度に所定のゲインを乗じ、これを上記電流指令に補正量として加える手段を備える構成としたものである。

またこの発明に係るサーボ制御装置は、上記ゲインに、理想位置と実際のフィードバック位置との差分に比例した係数を用いる構成としたものである。

5 またこの発明に係るサーボ制御方法及びその装置は、上記理想的なサーボ系モデルとして、位置指令から位置フィードバックまでの位置ループ系の遅れ、及び被制御対象の機械的遅れを考慮したモデルとしたものである。

#### 図面の簡単な説明

10 第1図はこの発明の実施の形態1に係るサーボ制御装置を示すブロック図である。

第2図はこの発明の実施の形態1に係るサーボ制御装置を、弾性変化の大きい機械系に適用した場合のシミュレーション結果を示す図である。

15 第3図はこの発明の実施の形態2に係るサーボ制御装置を示すブロック図である。

第4図はこの発明の実施の形態2に係るサーボ制御装置を、弾性変化の大きい機械系に適用した場合のシミュレーション結果を示す図である。

第5図はこの発明の実施の形態3に係るサーボ制御装置を示すブロック図である。

20 第6図はこの発明の実施の形態4に係るサーボ制御装置を示すブロック図である。

第7図はこの発明の実施の形態5に係るサーボ制御装置を示すブロック図である。

25 第8図はこの発明の実施の形態6に係るサーボ制御装置を示すブロック図である。

第9図は従来のサーボ制御装置を示すブロック図である。

第10図は弾性変化の大きい機械系における補正を用いない場合のシミュレーション結果を示す図である。

第11図は従来のサーボ制御装置を、弾性変化の大きい機械系に適用した場合のシミュレーション結果を示す図である。

5 第12図は他の従来のサーボ制御装置を示すブロック図である。

第13図は他の従来のサーボ制御装置を、弾性変化の大きい機械系に適用した場合のシミュレーション結果を示す図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

##### 実施の形態1.

第1図はこの発明の実施の形態1によるサーボ制御装置のブロック図である。

図中、24は位置指令生成部1から出力される位置指令9を入力する、位置ループ系の理想モデル、33は位置ループ系の理想モデル24の出力速度信号、25は弾性変化が大きい機械系の遅れを考慮した理想モデル、41は理想モデルの位置26と実際の位置フィードバック10との差分27を出力する減算部、28はゲインである。なおこのゲイン28は、大きく設定すればするほど補正効果は望めるが、実際に補正効果を上げるために機械系を含めた速度ループ制御系の応答性が必要であり、この応答性が悪いとサーボ系として不安定となるため、実際の機械に適用した場合にはその速度ループ制御系次第で決定される。また、42は理想モデルの位置26と実際の位置フィードバック10との間の差分27にゲイン28を乗じ、速度指令補正信号(速度指令補正值)29を出力する乗算部、43は乗算部36より出力される速度指令補正信号(速度指令補正值)29を速度指令11に加算する加算部である。

25 なおその他第8図に示す符号と同一符号のものは、第8図に示すものと同様のものである。

この発明の実施の形態1に係るサーボ制御装置は以上のように構成されており、理想モデルの方向変化時を補正のタイミングとし、この方向変化時より電流指令が静摩擦を超える値となるまでの所定の時間（この所定時間は予めパラメータ設定しておく）のみ、あるいは方向反転後の理想モデルの移動量に機械系のばね定数などを掛けた値が静摩擦を超える値（この値も予めパラメータ設定しておく）以上となるまでの間のみ、乗算部42にて、理想モデルの位置26と実際の位置フィードバック10との間の差分27にゲイン28を乗じることにより速度指令補正值29を生成し、この補正值29を、加算部43にて、位置制御による出力である速度指令11に加算するように動作する。

第2図は弾性変化が大きい機械系に、本実施の形態の補正を実施した時の効果を示したシミュレーション結果であるが、その瞬間毎に発生する誤差に応じて補正量が決定されるため、第11図に示した従来補正時に発生していたような食い込みなども抑制され、また、特開平1-276315号公報に開示の数値制御装置の発明における補正を行った結果と比べても、機械振動を誘発せず安定で高精度な補正効果が得られていることが分かる。

## 実施の形態2.

第3図はこの発明の実施の形態2によるサーボ制御装置のブロック図である。

この実施の形態2は、実施の形態1において、方向反転後に理想モデルの位置26と実際の位置フィードバック10との間の差分27に乗算部42にて乗じるゲインを、方向反転時に最大値として時間の関数、あるいは理想モデル位置の関数（実際の演算を簡潔に行う場合傾き一定でもよいが、方向反転での局所的な補正を重視する場合、指數減衰などの減衰も効果的である）で減衰するゲイン28Aに変更したものである。

なお、他の構成は実施の形態1のものと同様である。

この発明の実施の形態2に係るサーボ制御装置は以上のように構成されており、理想モデルの方向変化時を補正開始のタイミングとし、乗算部42にて、理想モデルの位置26と実際の位置フィードバック10との間の差分27に、ゲイン28A(方向反転時に最大値として時間の関数、あるいは理想モデル位置の関数で減衰させるゲイン)を乗じることにより速度指令補正值29を生成し、この補正值29を、加算部43にて、位置制御による出力である速度指令11に加算するように動作する。

第4図は、本実施の形態の補正を実施した時の効果を示したシミュレーション結果であるが、補正量のゲインによる重みを方向反転時に集中的に高くできるため、更に機械振動を誘発しにくく、補正効果を上げることが可能となる。

### 実施の形態3.

第5図はこの発明の実施の形態3によるサーボ制御装置のブロック図である。

図中、30は理想モデルの位置26と実際の位置フィードバック10との間の方向反転直後の差分27を、オフセット値31として記憶する記憶部である。なお、オフセット値31は上記方向反転毎に上書き書き換えする。また、44は方向反転後の理想モデルの位置26と実際の位置フィードバック10との間の差分27と、オフセット値31との差分32を出力する減算部である。なおその他の構成は、実施の形態2と同様である。

この発明の実施の形態3に係るサーボ制御装置は以上のように構成されており、先ず理想モデルの位置26と実際の位置フィードバック10との間の方向反転直後の差分27を、オフセット値31として記憶部30に記憶する。そして理想モデルの位置26と実際の位置フィードバック10との間の方向反転後の差分27に対し、オフセット値31を減算部38にて減算し、得られた差分32に、乗算部42にてゲイン28A(方向反転時に最大値として時間の関数、あるいは理想

モデル位置の関数で減衰させるゲイン)を乗じることにより速度指令補正值29を生成し、この補正值29を、加算部37にて、位置制御による出力である速度指令11に加算するように動作する。

これにより、高速・高加速度運転時にモデル化誤差により発生する理想モデルと実際のモータ、あるいは、機械系の位置フィードバックとの誤差は除去し、目的である象限切替え時の誤差についてのみ補正を実施し、安定で、かつ、象限突起の抑制効果をより高くする調整が可能となる。

#### 実施の形態4.

10 第6図はこの発明の実施の形態4によるサーボ制御装置のブロック図である。

図中、24は位置指令生成部1から出力される位置指令9を入力する、位置ループ系の理想モデル、33は位置ループ系の理想モデル24の出力速度信号、25は弾性変化が大きい機械系の遅れを考慮した理想モデル、35は位置ループ系の理想モデル24より作られるモデル速度信号33により方向反転を検出し、方向反転が検出された場合、方向反転時の位置を0として位置フィードバック値（これは本来実際の位置フィードバック10を用いるのが望ましいが、位置フィードバック分解能が粗い場合などには補正量が振動的になり機械の共振などを誘発する可能性があるため、そのような場合は、理想モデルの出力位置26の累積位置を使用してもよい）より方向反転からの位置36を計算する演算器、34は演算器35によって計算された値に掛けることにより電流指令補正值23とする、機械系のボールねじやオイルシールなどの弾性変形によって生じるねじりを補償するばね定数である。

25 なおその他第9図に示す符号と同一符号のものは、第9図に示すものと同様のものである。

この発明の実施の形態4に係るサーボ制御装置は以上のように構成されており、位置ループ系の理想モデル24より作られるモデル速度信号33により方向反転を検出し、方向反転が検出された場合、方向反転時の位置を0として演算器35により位置フィードバック10（または理想モデルの出力位置26の累積位置）より方向反転からの位置36を計算し、この値に機械系のポールネジやオイルシールなどの弾性変形によって生じるねじりを補償するばね定数34を掛けたものを電流指令補正值23として、その補正值が静摩擦量を超えるまで、あるいは補正量を加えたトータルの電流指令が静摩擦量を超えるまで、速度比例項分指令20や速度積分項分指令21に加算する。

これにより、ポールネジのねじりなどのばね系要素が大きい機械における負荷トルクを打ち消す形で、方向反転からの累積位置に比例した補正を行い、弾性変形などのばね要素をもつ機械系に対しても過補正による食い込みなどを生じさせにくく、速度変化や摩擦負荷などの変化に対しても安定した補正が可能となる。

### 実施の形態5.

第7図はこの発明の実施の形態5によるサーボ制御装置のブロック図である。

図中、37はモデル位置ループより作られるモデル速度信号33により方向反転が検出された場合、速度フィードバック値（これは本来実際の速度フィードバック12を用いるのが望ましいが、速度フィードバック分解能が粗い場合には補正量が振動的になり機械の共振などを誘発する可能性があるため、そのような場合は、理想モデルの出力速度信号33を使用してもよい）に、掛けることにより電流指令補正值38とする、機械系のポールネジやオイルシールなどの回転部に生じる粘性摩擦項を補償する粘性定数、39は実施の形態4で

説明した電流指令補正值23と上記電流指令補正值38とを加算して電流指令補正值40を出力する加算部である。なおその他の構成は、実施の形態4と同様である。

この発明の実施の形態5に係るサーボ制御装置は以上のように構成されており、位置ループ系の理想モデル24より作られるモデル速度信号33により方向反転を検出し、方向反転が検出された場合、方向反転時の位置を0として演算器35により位置フィードバック10（または理想モデルの出力位置26の累積位置）より方向反転からの位置36を計算し、この値に機械系のボールねじやオイルシールなどの弾性変形によって生じるねじりを補償するばね定数34を掛けて電流指令補正值23を生成する。  
10

また、位置ループ系の理想モデル24より作られるモデル速度33により方向反転を検出し、方向反転が検出された場合、方向反転時の位置を0として速度フィードバック12（または理想モデルの出力速度33）に、機械系のボールねじやオイルシールなどの回転部に生じる粘性摩擦項を補償する粘性定数37を掛けることにより電流指令補正值38を生成する。  
15

そして、加算器39にて上記電流指令補正值23と電流指令補正值38とを加算することにより電流指令補正值40として、その補正值が静摩擦量を超えるまで、あるいは補正量をえたトータルの電流指令が静摩擦量を超えるまで、速度比例項分指令20や速度積分項分指令21に加算する。  
20

これにより、低速での方向反転に効果がある実施の形態4のばね定数による補正に加え、高速時に支配的になる粘性項による補正を備えるため、実施の形態4より更に速度変化に対して安定して高精度の補正が可能となる。

第8図はこの発明の実施の形態6によるサーボ制御装置のブロック図である。

この実施の形態6は、実施の形態5において、ばね定数を補償する項であるばね定数34と粘性項を補償する粘性定数37を、理想モデルの位置26と実際の位置フィードバック10との差分(誤差)27に比例するゲインとしたものである。  
5

なお、その他の構成は実施の形態5のものと同様である。

これにより、ボールネジのねじりなどのばね系要素が大きい機械における負荷トルクを打ち消す形で、方向反転からの累積位置に比例した補正を行い、  
10 弹性変形などのばね要素をもつ機械系に対しても過補正による食い込みなどを生じさせにくく、速度変化や摩擦負荷などの変化に対しても安定した補正が可能となるだけでなく、その補正量を決定するばね定数や粘性定数は理想位置との誤差により可変となるため、ばね定数や粘性定数の経年変化や、機械の条件変化にも対応できるシステムを構築できる。

なお、この実施の形態6において、ばね定数を補償する項であるばね定数3  
15 4と粘性項を補償する粘性定数37の何れか一方のみを、理想モデルの位置2  
6と実際の位置フィードバック10との差分27に比例するゲインとすることも可能である。

以上説明したように、この発明によれば、理想的なサーボ系モデルに基づいて理想的な位置を演算し、この演算した理想位置と実際の位置フィードバックとの差分に、理想位置の方向反転時から所定の間のみ、所定のゲインを乗じ、これを上記速度指令に補正量として加えるので、摩擦量の経年変化の影響や加工条件の違いによる補正効果のバラツキを抑えることができ、またボールネジのねじりやシール材などの弾性変化が大きい機械系においても、補正後のねじり戻しなどによる食い込みを抑制することが可能となる。しかもサーボ系が不安定になることを防ぐことができ、安定した補正が可能となる。  
20  
25

またこの発明によれば、上記ゲインとして、理想位置の方向反転時に最大値として、所定の時間で減衰するものを用いるので、サーボ系が不安定になるのを更に抑制することができ、更に高精度な補正が可能となる。

またこの発明によれば、理想位置の方向反転時における理想位置と実際の位置フィードバックとの差分をオフセット値として記憶するとともに、このオフセット値にて上記差分を減算し、この減算したものに上記ゲインを乗じるので、高速・高加速度運転時にモデル化誤差により発生する理想モデルと実際のモータ、あるいは機械系の位置フィードバックとの誤差を除去でき、目的である象限切替え時の誤差についてのみ補正を実施し、安定で、かつ象限突起の抑制効果をより高くする調整が可能となる。これは、特開平 1-276315 公報に開示の補正を行った場合の挙動をシミュレーションした結果と同様に、目的以外の誤差に対して高いゲイン（增幅値）で補正することは、機械の振動や共振を誘発しやすく、結果として低いゲインでの補正しか行えないことに対して有効となる。

またこの発明によれば、理想的なサーボ系モデルに基づいて理想的な位置を演算し、この演算した理想位置の方向反転時から所定の間のみ、上記位置フィードバックあるいは理想的なサーボ系モデルの累積位置に所定のゲインを乗じ、これを上記電流指令に補正量として加えるので、ポールネジのねじりなどのばね系要素が大きい機械における負荷トルクを打ち消す形で、方向反転からの累積位置に比例した補正を行い、弾性変形などのばね要素をもつ機械系に対しても過補正による食い込みなどを生じさせにくく、速度変化や摩擦負荷などの変化に対しても安定した補正が可能となる。

またこの発明によれば、理想位置の方向反転時から所定の間のみ、上記速度フィードバックあるいは理想的なサーボ系モデルの速度に所定のゲインを乗じ、これを上記電流指令に補正量として加えるので、高速時に支配的になる粘性項による補正を備えるため、上記のばね系要素の補正から更に速度

変化に対して安定して高精度の補正が可能となる。

またこの発明によれば、上記ゲインに、理想位置と実際のフィードバック位置との差分に比例した係数を用いるので、ボールネジのねじりなどのばね系要素が大きい機械における負荷トルクを打ち消す形で、方向反転からの累積位置に比例した補正を行い、弾性変形などのばね要素をもつ機械系に対しても過補正による食い込みなどを生じさせにくく、速度変化や摩擦負荷などの変化に対しても安定した補正が可能となるだけでなく、その補正量を決定するばね定数や粘性定数は理想位置との誤差により可変となるため、ばね定数や粘性定数の経年変化や、機械の条件変化にも対応できるシステムを構築できる。

### 産業上の利用可能性

以上のように、この発明にかかるサーボ制御方法及びその装置は、ボールネジのねじりやシール材などの弾性変化が大きい機械系のサーボ制御において用いられるのに適している。

## 請求の範囲

1. 位置指令と実際の位置フィードバックとの差分に基づいて速度指令を生成するとともに、この速度指令と実際の速度フィードバックとの差分に基づいて電流指令を生成し、この電流指令に基づいてサーボモータを制御するサーボ制御方法において、理想的なサーボ系モデルに基づいて理想的な位置を演算し、この演算した理想位置と実際の位置フィードバックとの差分に、理想位置の方向反転時から所定の間のみ、所定のゲインを乗じ、これを上記速度指令に補正量として加えることを特徴とするサーボ制御方法。  
10
2. 上記ゲインは、理想位置の方向反転時に最大値として、所定の時間で減衰するものであることを特徴とする請求の範囲1に記載のサーボ制御方法。
3. 理想位置の方向反転時における理想位置と実際の位置フィードバックとの差分をオフセット値として記憶するとともに、このオフセット値にて上記差分を減算し、この減算したものに上記ゲインを乗じることを特徴とする請求の範囲1または2に記載のサーボ制御方法。  
15
4. 位置指令と実際の位置フィードバックとの差分に基づいて速度指令を生成するとともに、この速度指令と実際の速度フィードバックとの差分に基づいて電流指令を生成し、この電流指令に基づいてサーボモータを制御するサーボ制御方法において、理想的なサーボ系モデルに基づいて理想的な位置を演算し、この演算した理想位置の方向反転時から所定の間のみ、上記位置フィードバックあるいは理想的なサーボ系モデルの累積位置に所定のゲインを乗じ、これを上記電流指令に補正量として加えることを特徴とするサーボ制御方法。  
20
5. 理想位置の方向反転時から所定の間のみ、上記速度フィードバックあるいは理想的なサーボ系モデルの速度に所定のゲインを乗じ、これを上記電流指令に補正量として加えることを特徴とする請求の範囲4に記載のサーボ制御方  
25

法。

6. 上記ゲインに、理想位置と実際のフィードバック位置との差分に比例した係数を用いることを特徴とする請求の範囲4または5に記載のサーボ制御方法。

7. 上記理想的なサーボ系モデルは、位置指令から位置フィードバックまでの位置ループ系の遅れ、及び被制御対象の機械的遅れを考慮したモデルであることを特徴とする請求の範囲1～6の何れかに記載のサーボ制御方法。

8. サーボモータの位置及び速度を検出する手段と、位置指令と実際の位置フィードバックとの差分に基づいて速度指令を生成する位置制御部と、上記速度指令と実際の速度フィードバックとの差分に基づいて電流指令を生成する速度制御部と、上記電流指令に基づいてサーボモータに流す電流を制御する電流制御部とを備え、上記サーボモータを制御するサーボ制御装置において、理想的なサーボ系モデルと、このモデルが演算した理想位置と実際の位置フィードバックとの差分信号を出力する減算手段と、この減算手段より出力された差分信号に、理想位置の方向反転時から所定の間のみ、所定のゲインを乗じ、これを上記速度指令に補正量として加える手段とを備えてなるサーボ制御装置。

9. 上記ゲインは、理想位置の方向反転時に最大値として、所定の時間で減衰するものであることを特徴とする請求の範囲8に記載のサーボ制御装置。

10. 理想位置の方向反転における理想位置と実際の位置フィードバックとの差分をオフセット値として記憶する記憶手段と、この記憶手段に記憶されたオフセット値にて上記差分を減算する減算手段と、この減算手段にて減算されたものに、上記ゲインを乗じることを特徴とする請求の範囲8または9に記載のサーボ制御装置。

11. サーボモータの位置及び速度を検出する手段と、位置指令と実際の位置フィードバックとの差分に基づいて速度指令を生成する位置制御部と、上記速度指令と実際の速度フィードバックとの差分に基づいて電流指令を生成する

5

10

15

20

25

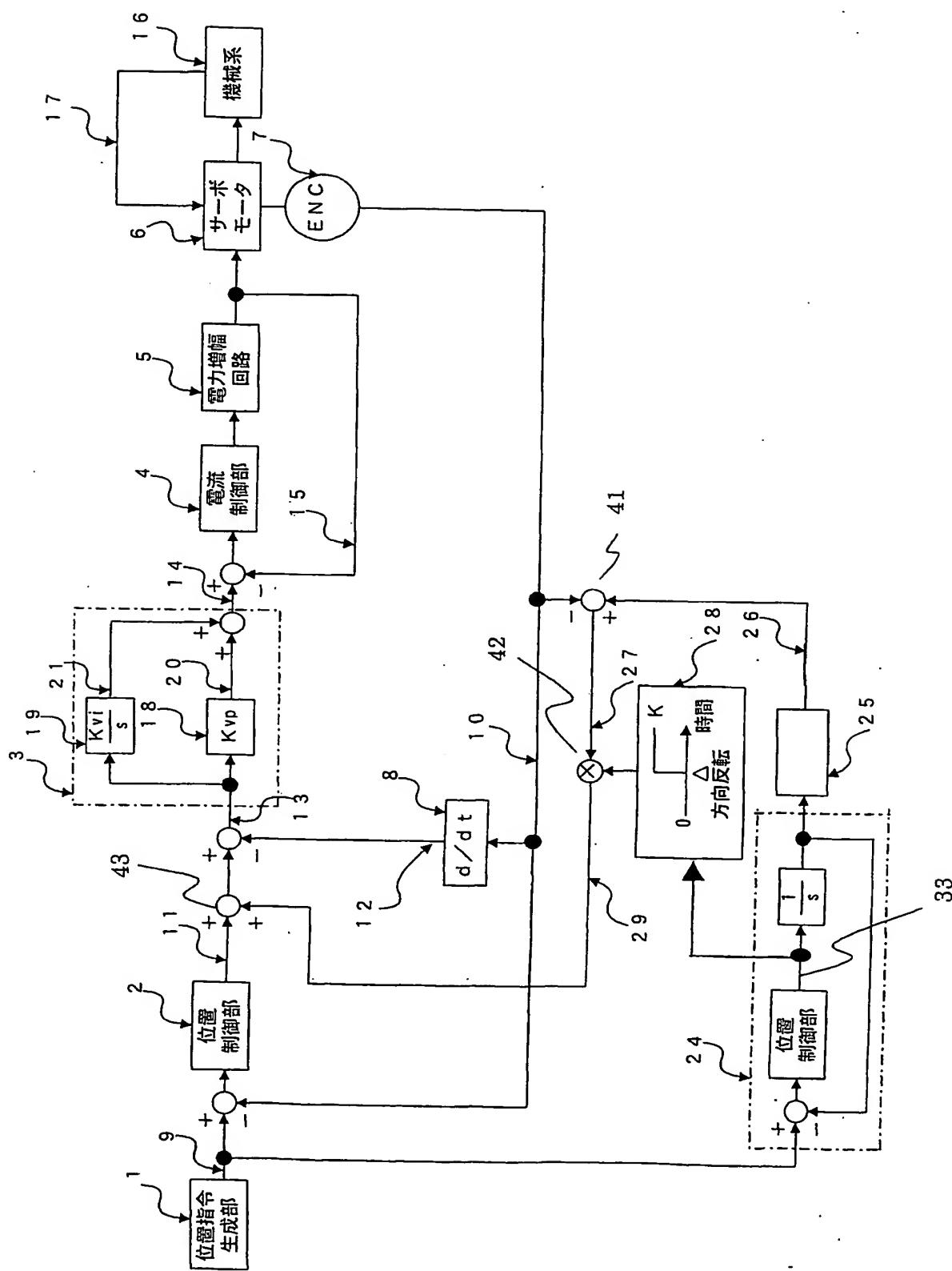
速度制御部と、上記電流指令に基づいてサーボモータに流す電流を制御する電流制御部とを備え、上記サーボモータを制御するサーボ制御装置において、理想的なサーボ系モデルと、このモデルの理想位置の方向反転時から所定の間のみ、上記位置フィードバックあるいは理想的なサーボ系モデルの累積位置に所定のゲインを乗じ、これを上記電流指令に補正量として加える手段とを備えてなるサーボ制御装置。

5 12. 上記モデルの理想位置の方向反転時から所定の間のみ、上記速度フィードバックあるいは理想的なサーボ系モデルの速度に所定のゲインを乗じ、これを上記電流指令に補正量として加える手段を備えたことを特徴とする請求の範囲11に記載のサーボ制御装置。

10 13. 上記ゲインに、理想位置と実際のフィードバック位置との差分に比例した係数を用いることを特徴とする請求の範囲11または12に記載のサーボ装置。

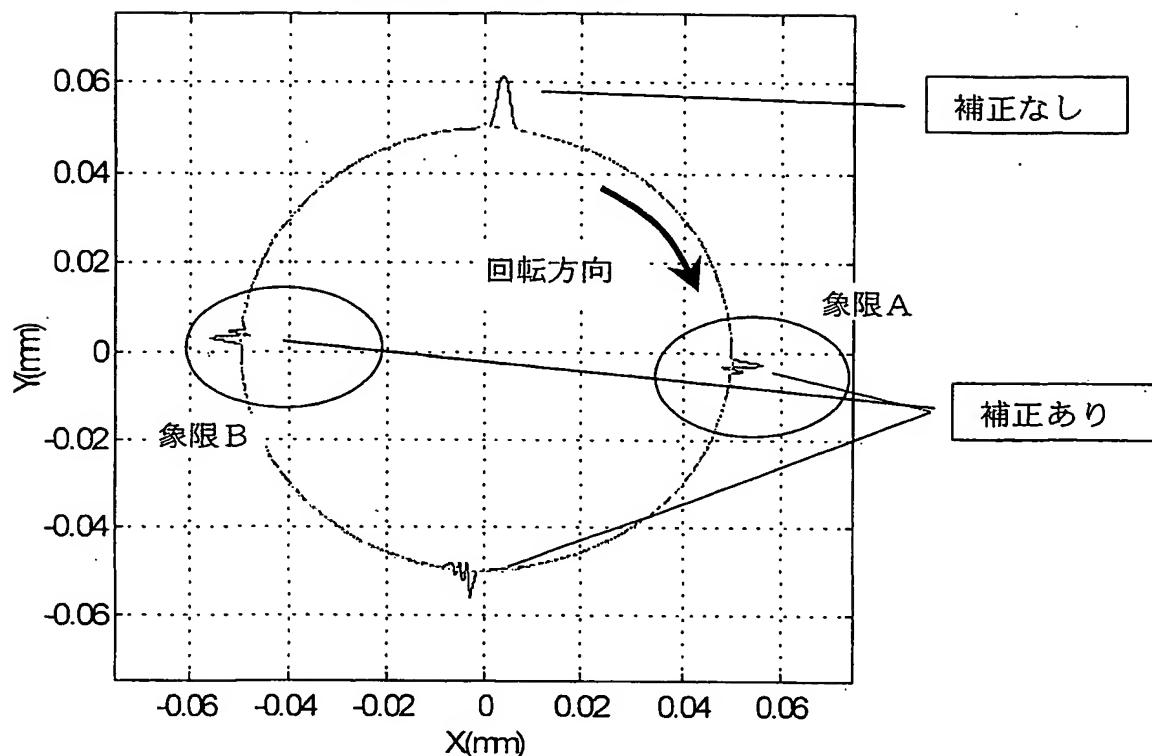
14. 上記理想的なサーボ系モデルは、位置指令から位置フィードバックまでの位置ループ系の遅れ、及び被制御対象の機械的遅れを考慮したモデルであることを特徴とする請求の範囲8～13の何れかに記載のサーボ制御装置。

第1図



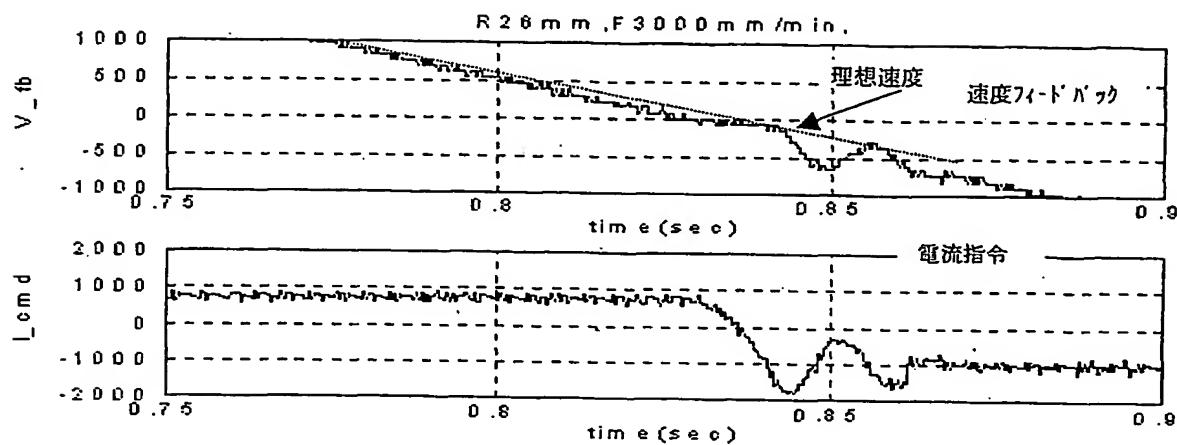
## 第2図

(a) 真円度 (実施の形態 1)

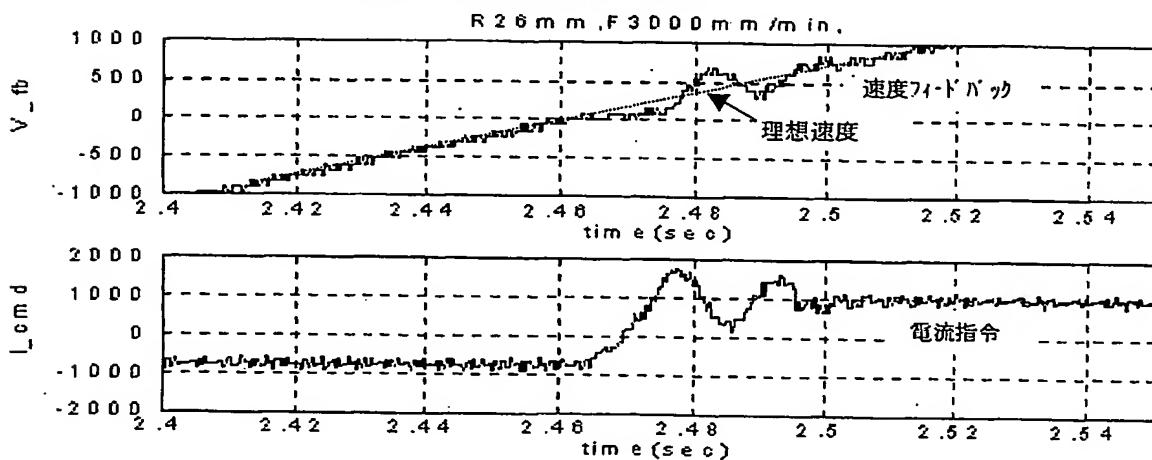
 $R26(\text{mm}), F3000(\text{mm/min})$ 

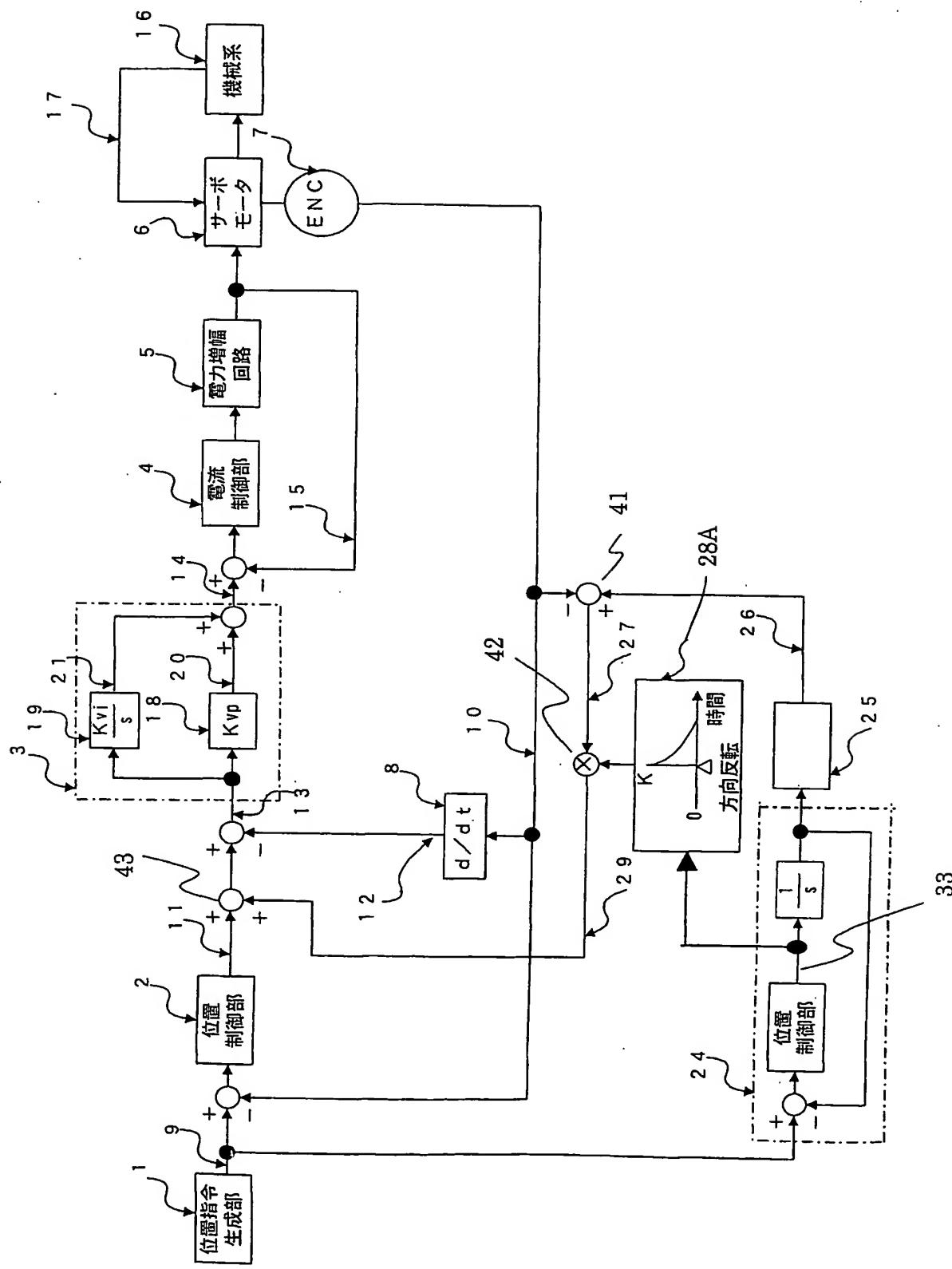
## 第2図

(b) 象限Aでの速度と電流波形（実施の形態1）



(c) 象限Bでの速度と電流波形

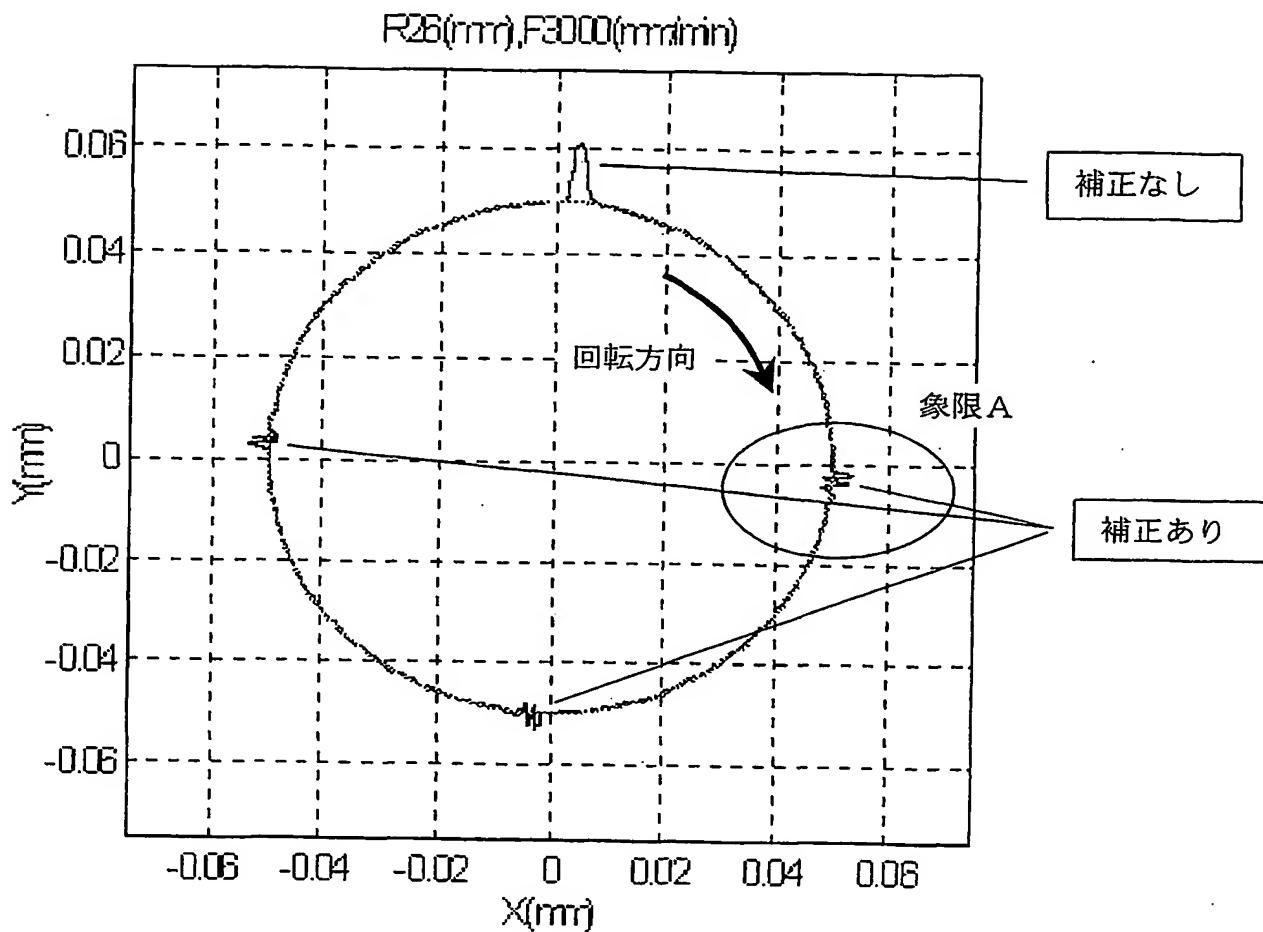




5/18

## 第4図

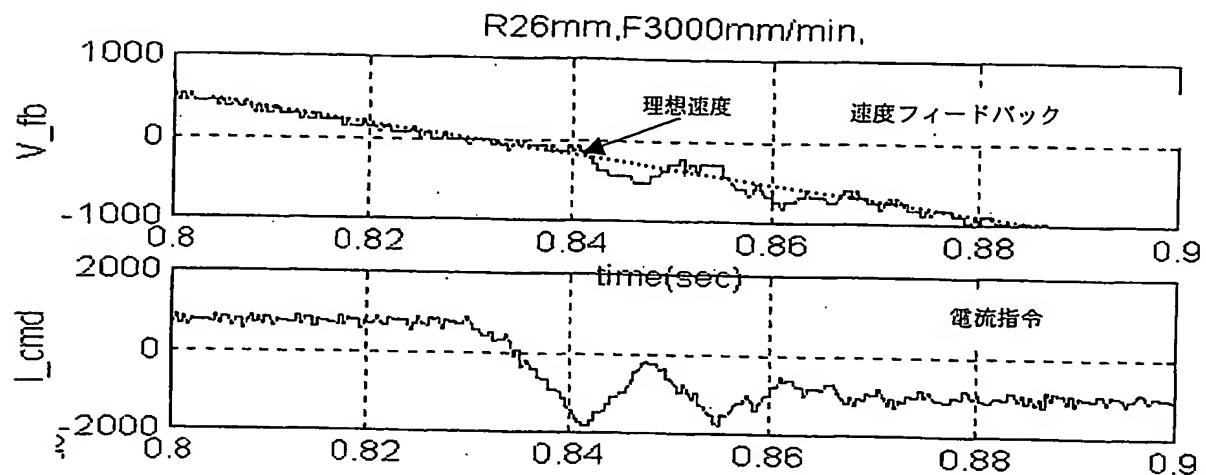
(a) 真円度 (実施の形態 2)



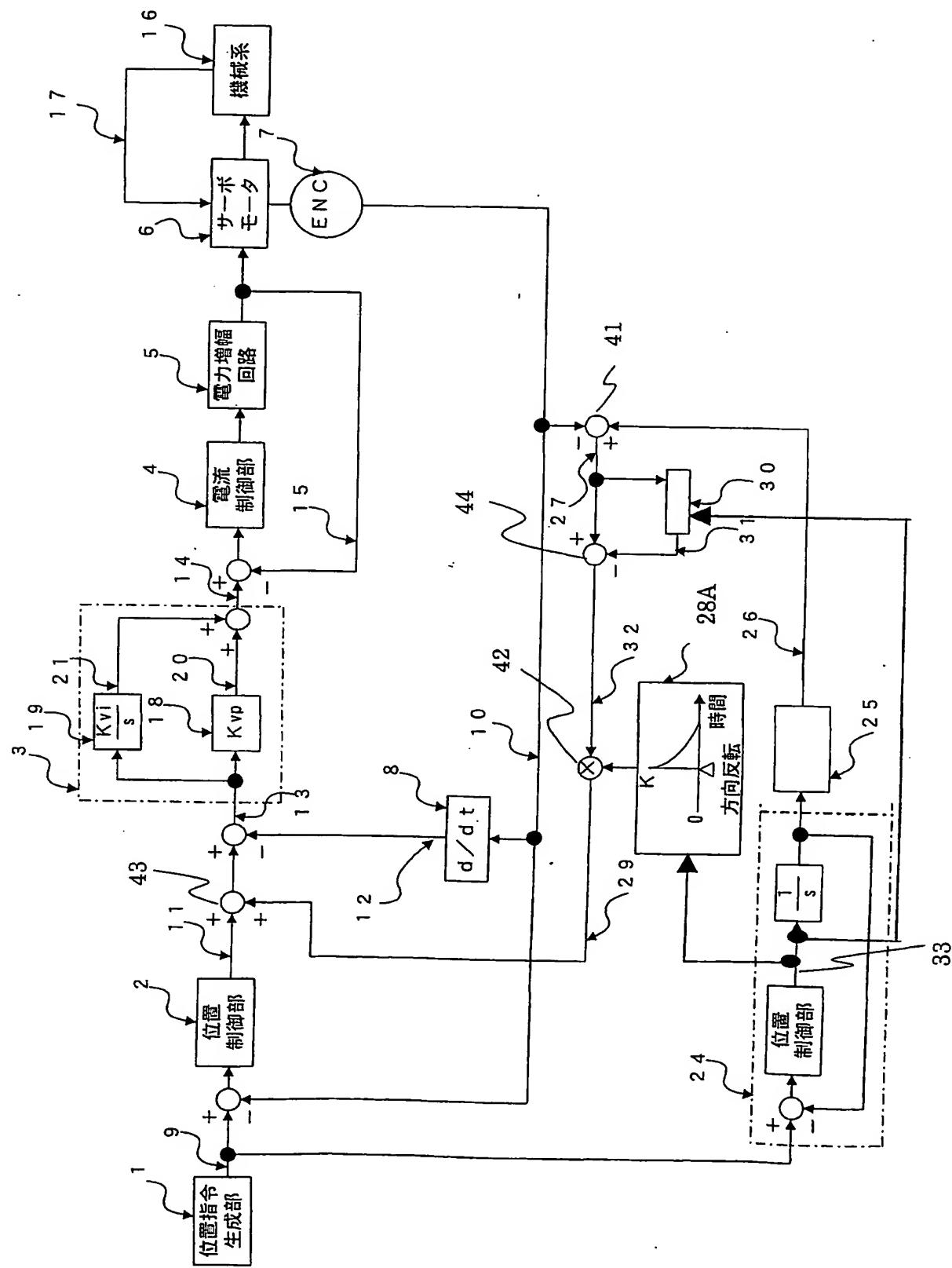
6/18

## 第4図

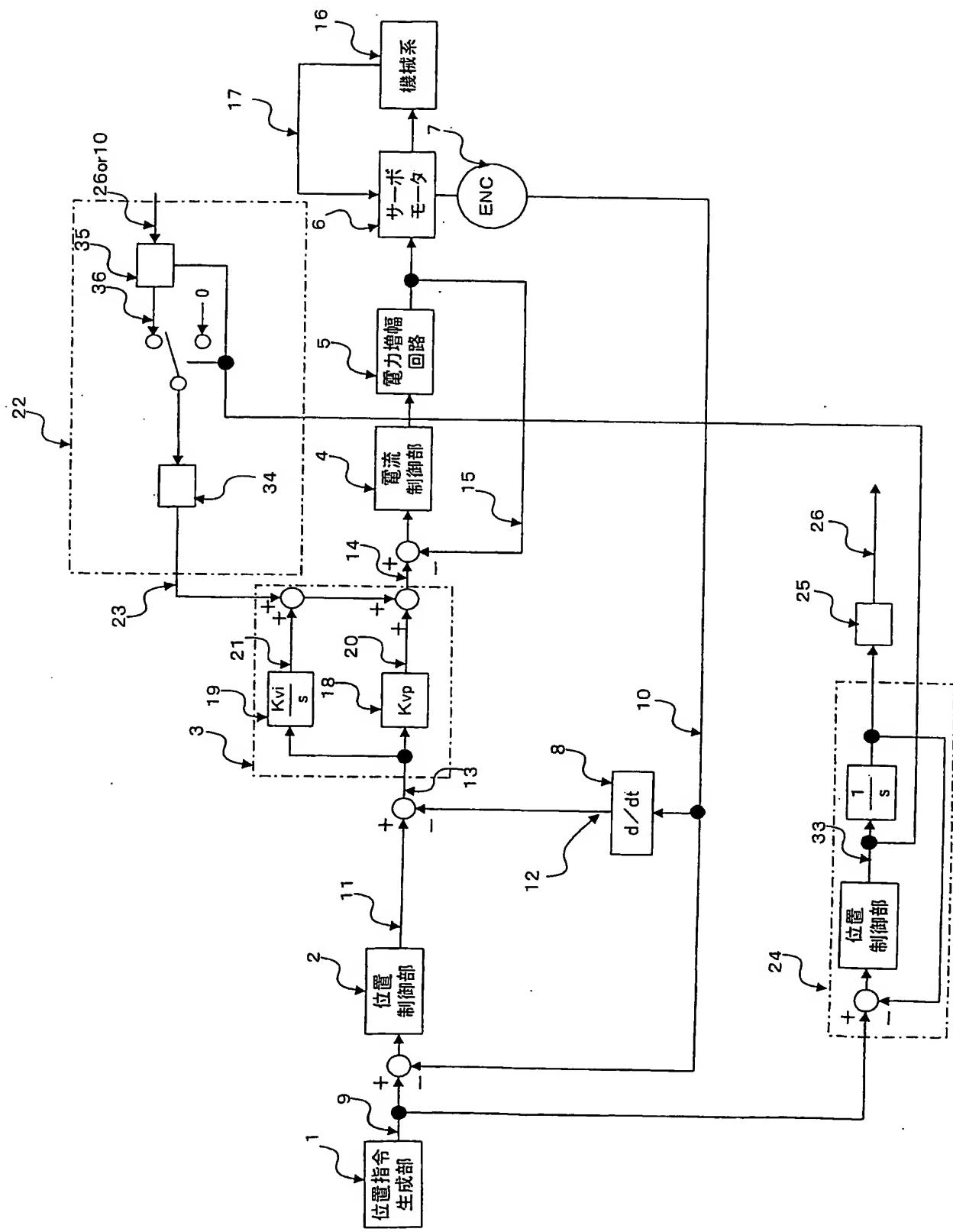
(b) 象限Aでの速度と電流波形 (実施の形態2)



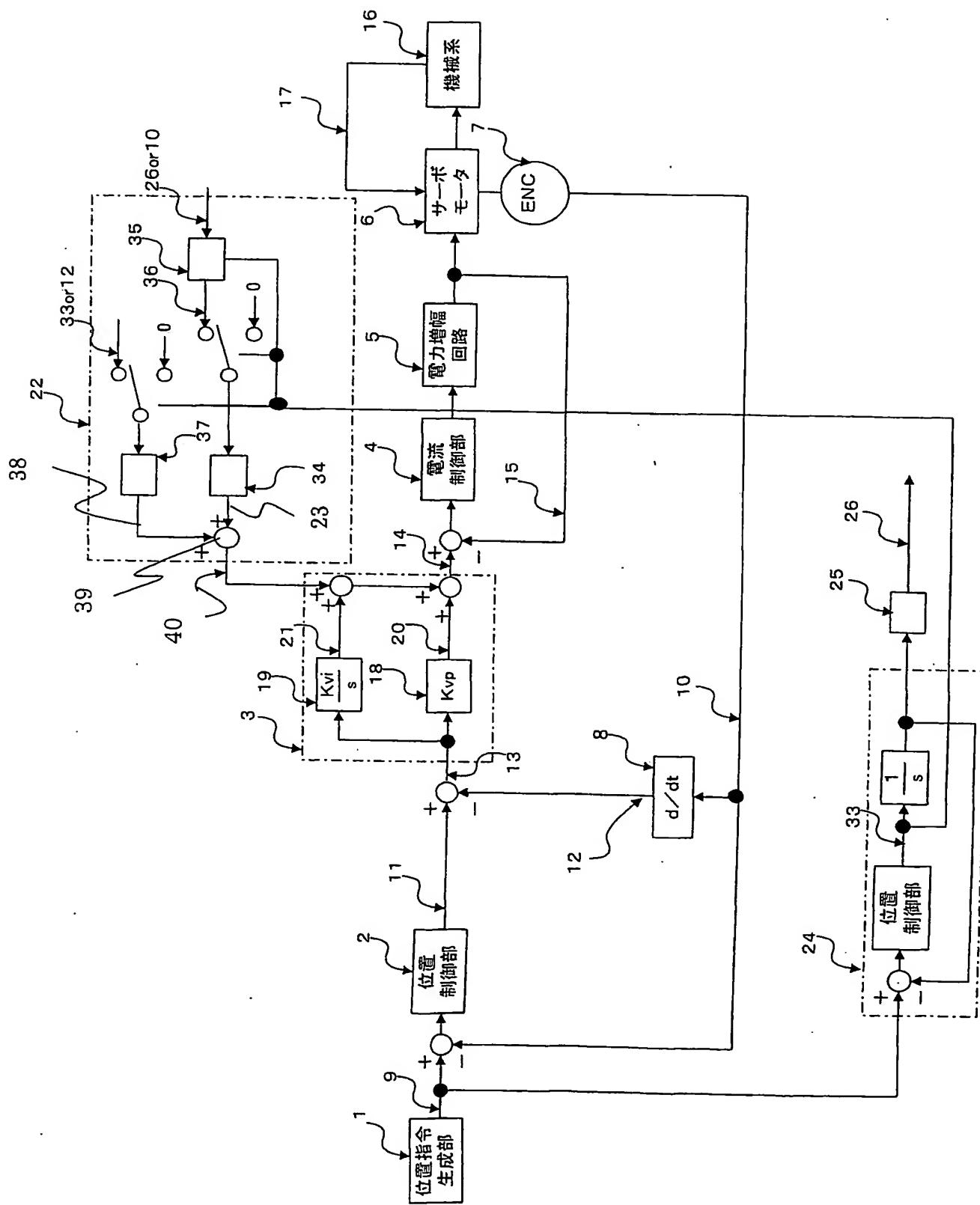
第5図



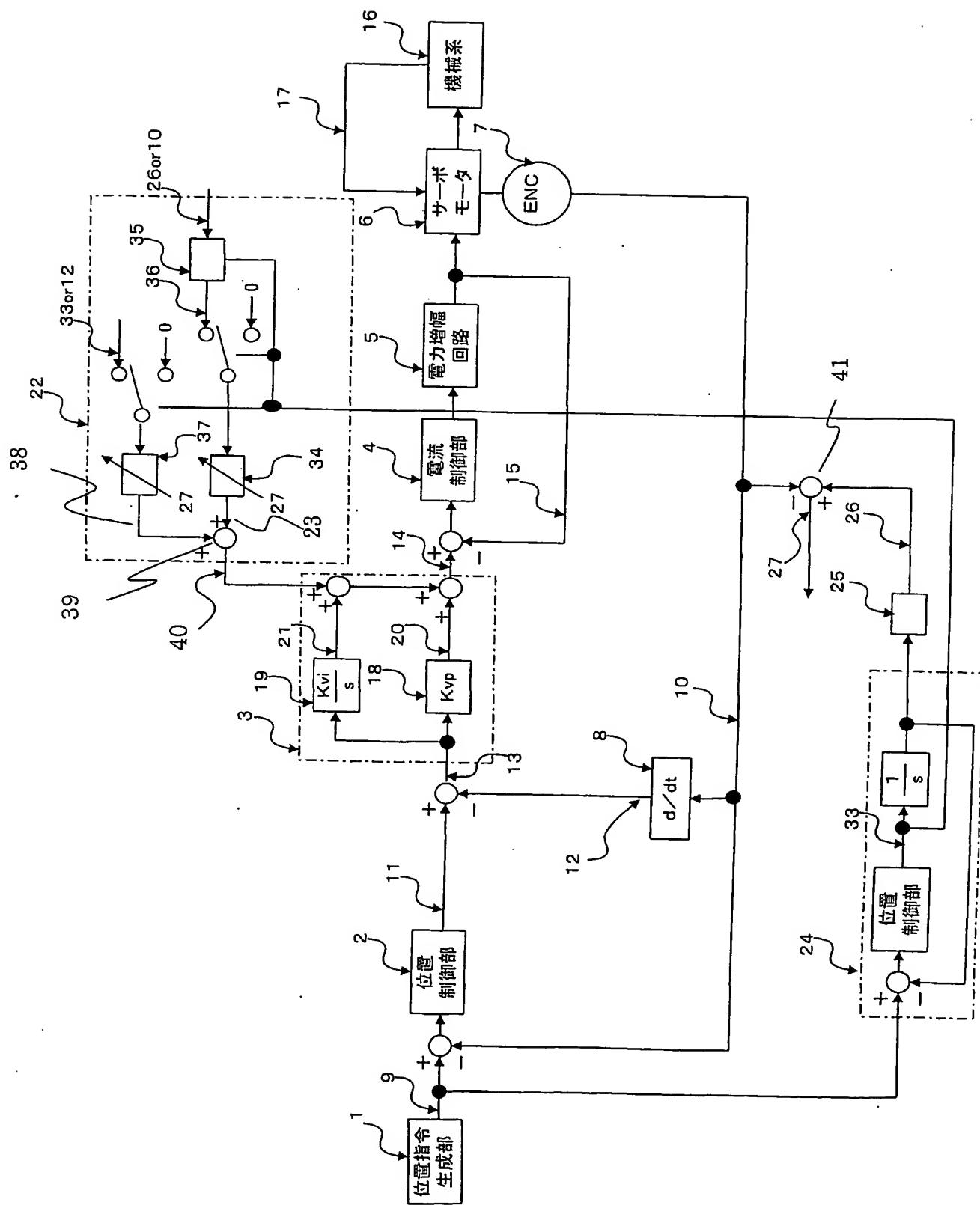
第6図



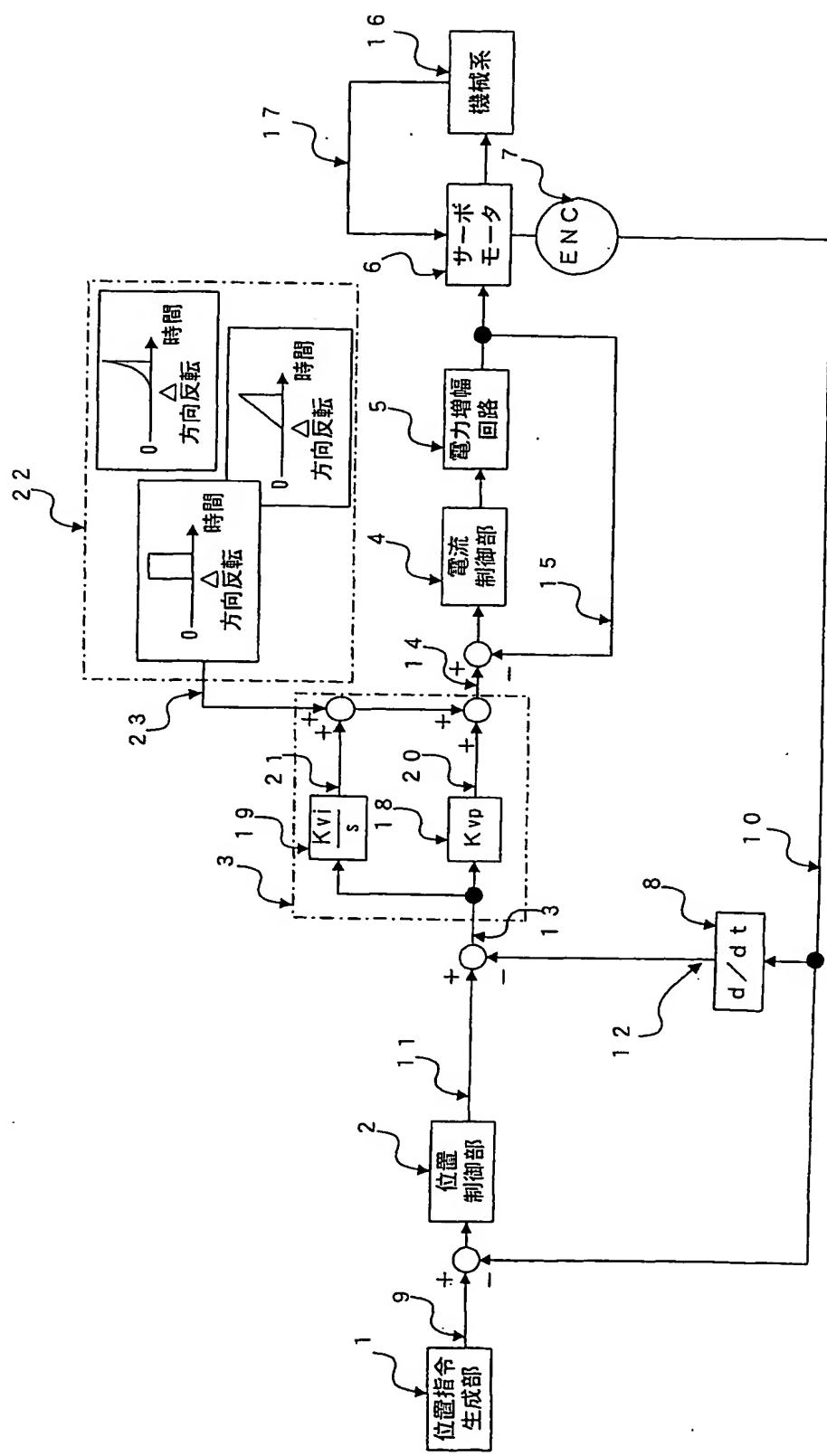
第7図



## 第8図



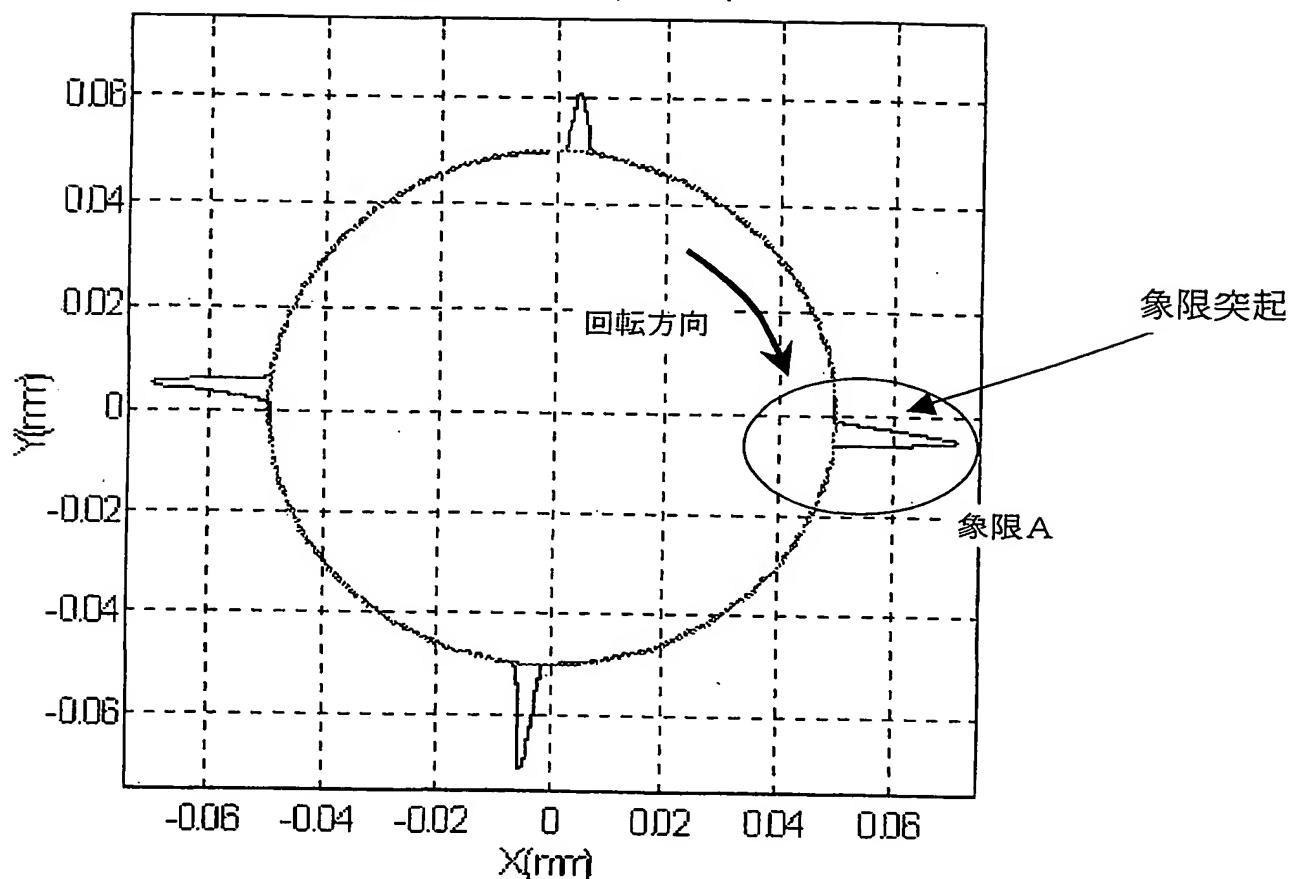
第9図



12/18

## 第10図

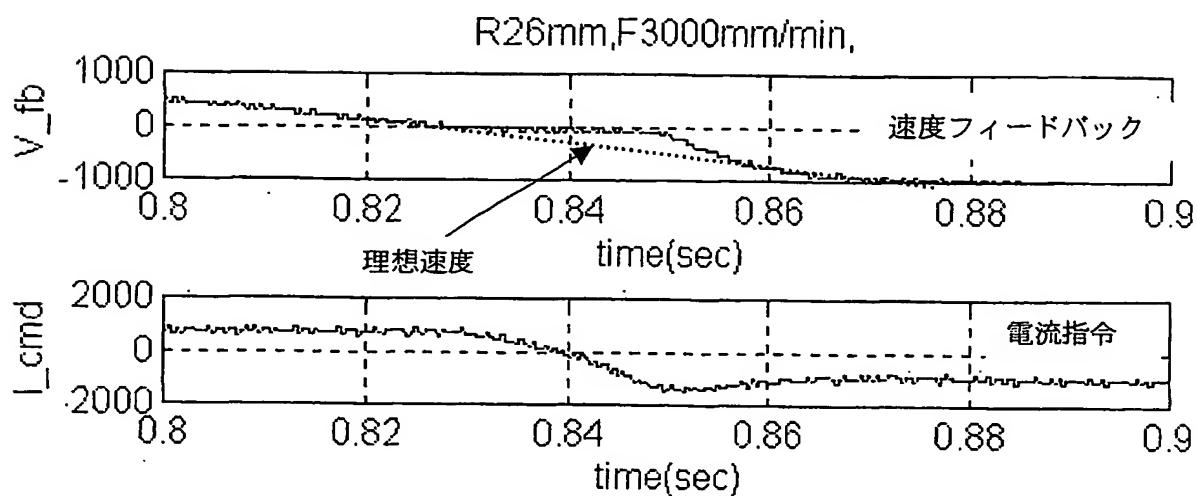
(a) 真円精度 (補正無し)

 $R26(\text{mm}), F3000(\text{mm/min})$ 

13/18

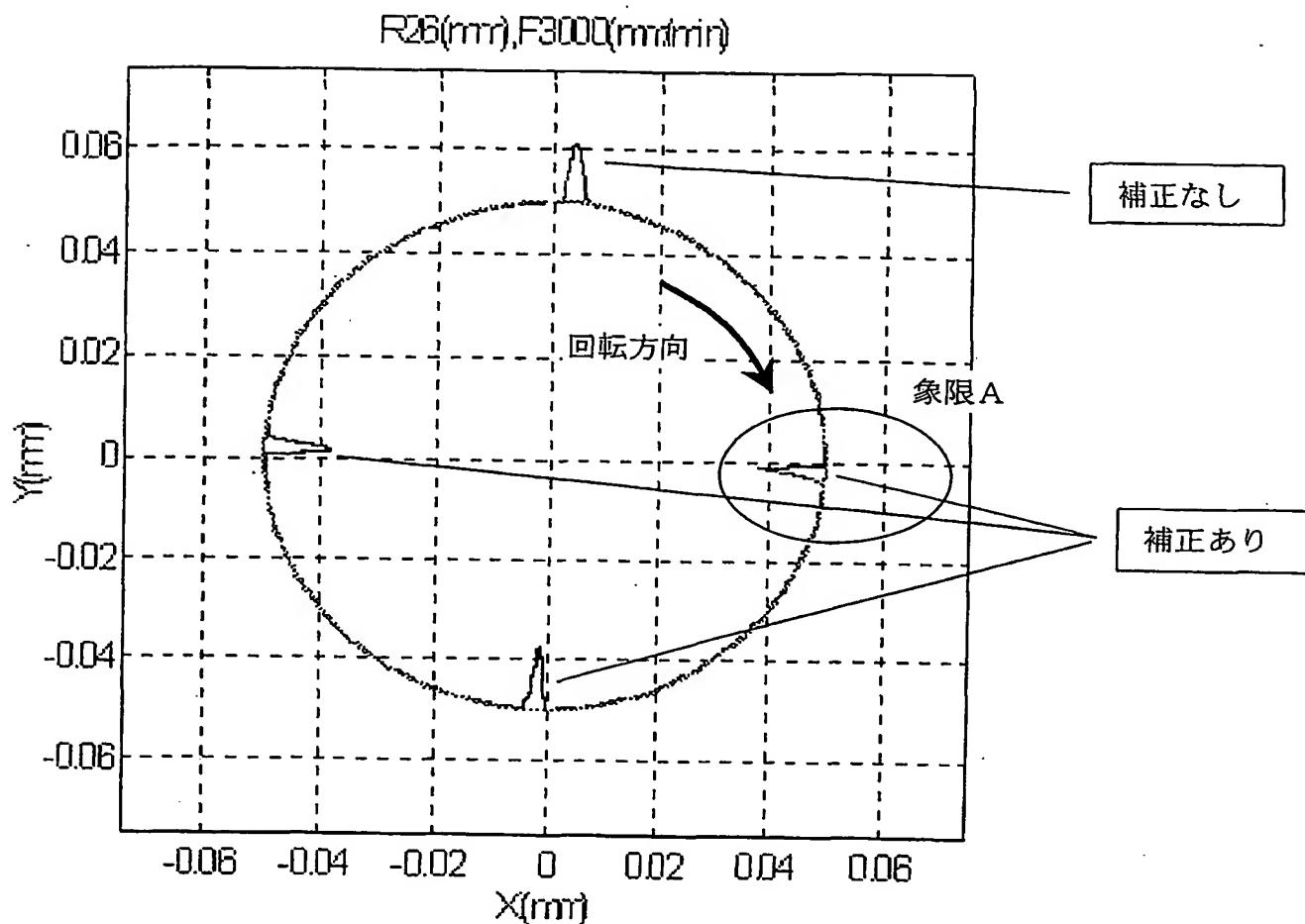
## 第10図

(b) 象限Aでの速度と電流波形（補正無し時）



## 第11図

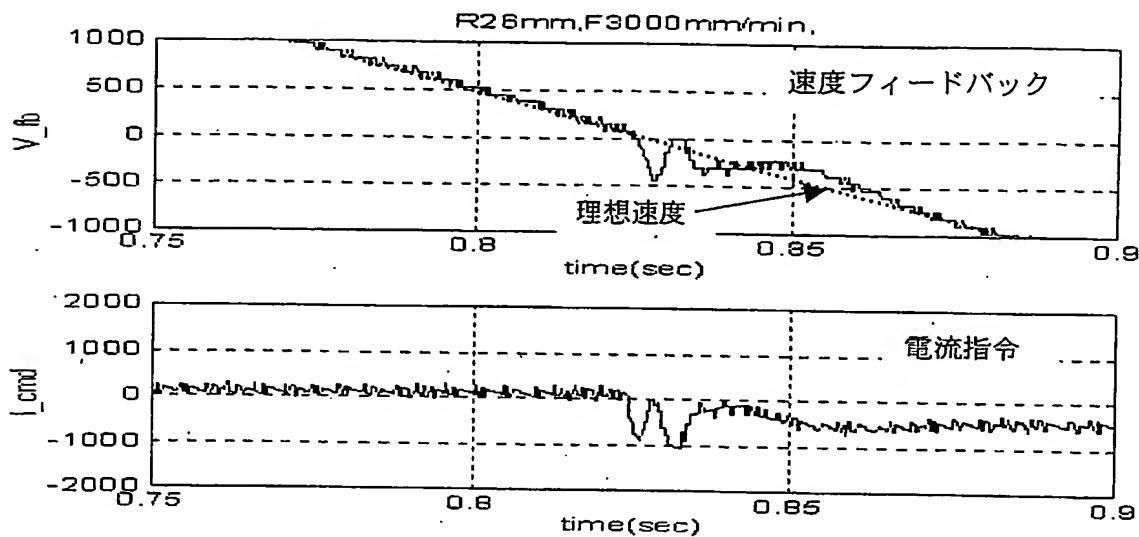
(a) 真円精度 (従来補正)



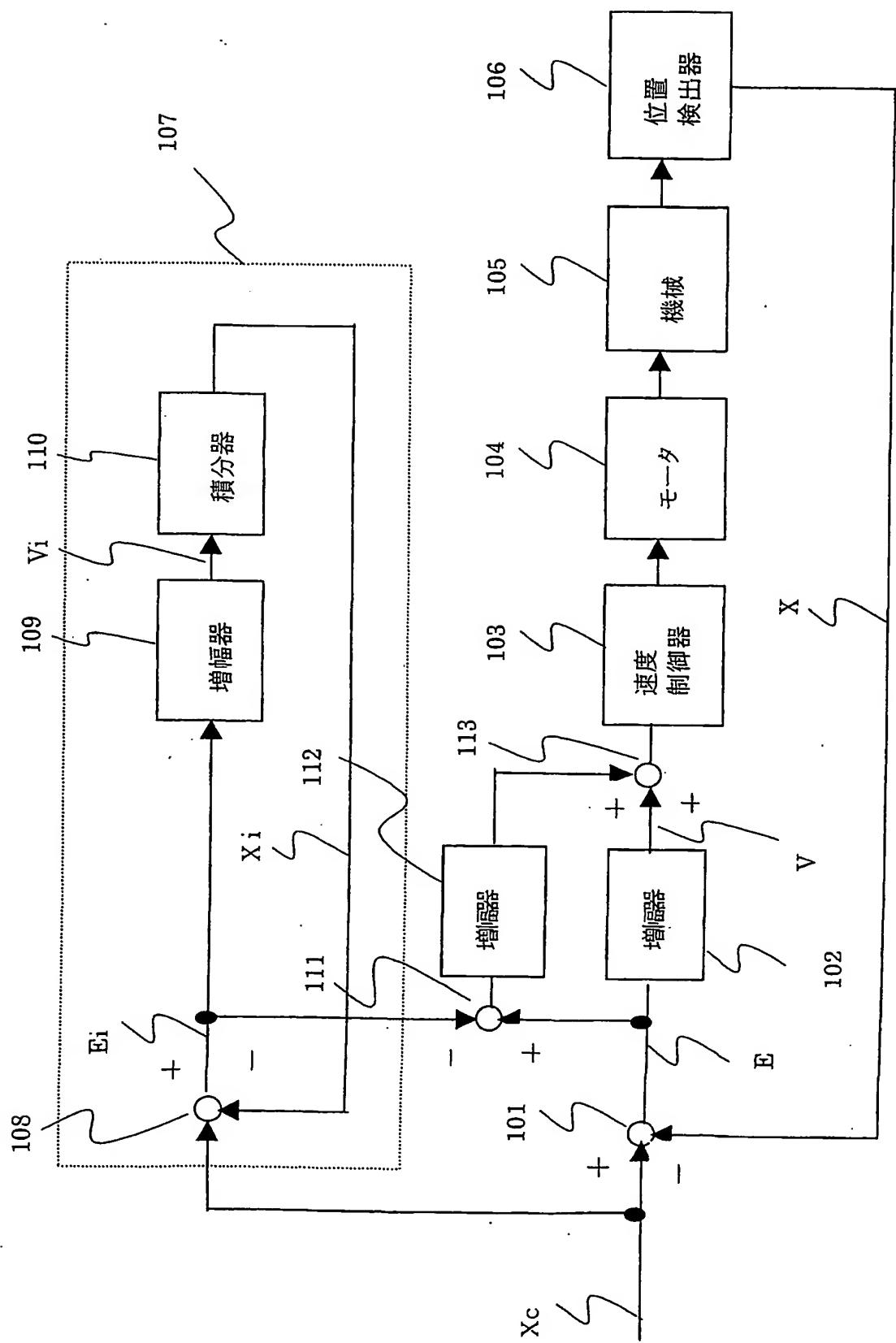
15/18

## 第11図

(b) 象限Aでの速度と電流波形 (従来補正)

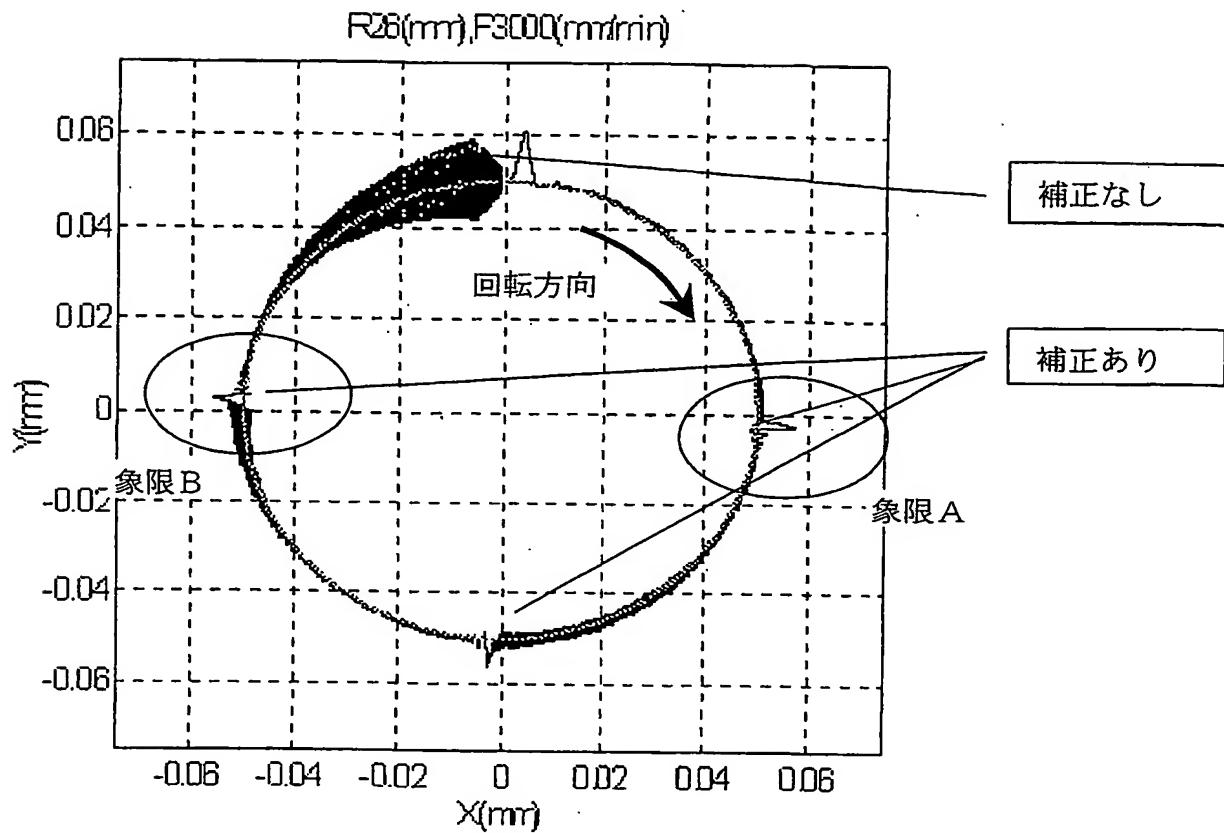


第12図



第13図

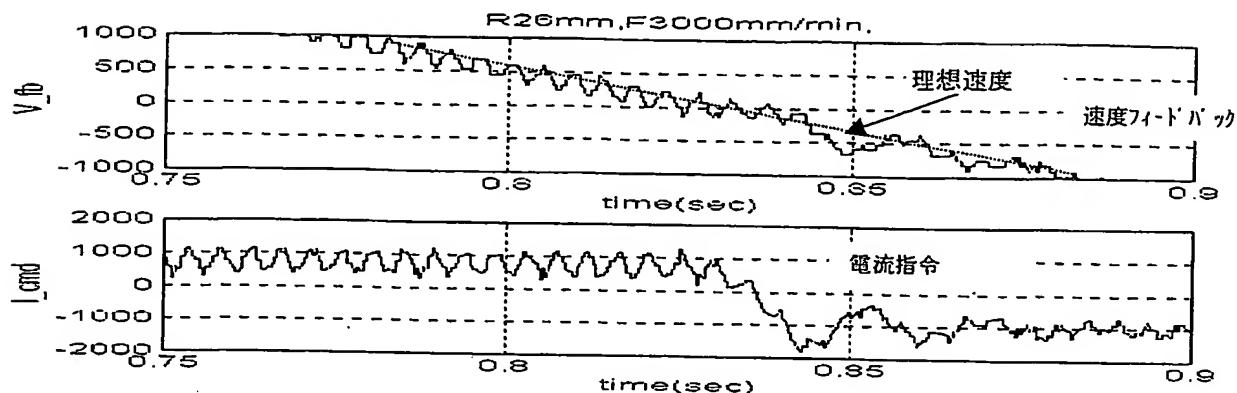
(a) 真円精度 (従来補正)



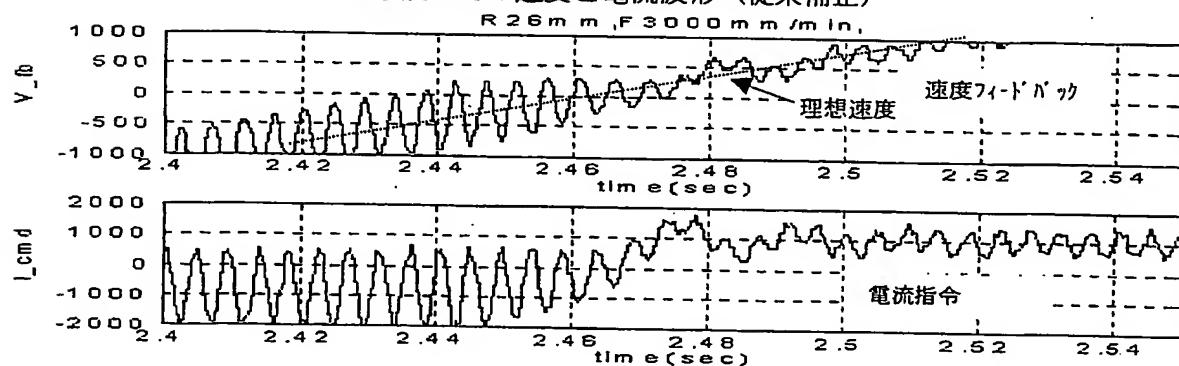
18/18

## 第13図

(b) 象限Aでの速度と電流波形（従来補正）



(c) 象限Bでの速度と電流波形（従来補正）



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/07701

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H02P 5/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H02P 5/00-5/52

G05B19/404

G05B13/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2001  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2001 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2001

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 03-158905 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 08 July, 1991 (08.07.1991), Fig. 1 (Family: none)	1-14
A	JP 07-013631 A (FANUC LTD), 17 January, 1995 (17.01.1995), drawings & WO 94/25910 A1 & US 5517100 A	1-14
A	WO 90/12448 A1 (Yasukawa Electric MFG Co., Ltd.), 18 October, 1990 (18.10.1990), Claim 1 & EP 0423357 A1 & US 5134354 A	1-14

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier document but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
29 January, 2001 (29.01.01)Date of mailing of the international search report  
06 February, 2001 (06.02.01)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl' H02P 5/00

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl' H02P 5/00-5/52  
G05B19/404  
G05B13/04

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1926-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2001年
日本国登録実用新案公報	1994-2001年
日本国実用新案登録公報	1996-2001年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 03-158905, A (三菱重工業株式会社)、8. 7 月. 1991 (08. 07. 91), 第1図 (ファミリーなし)	1-14
A	J P, 07-013631, A (ファナック株式会社)、 17. 1月. 1995 (17. 01. 95), 図面 & WO, 94/25910, A1&US, 5517100, A	1-14
A	WO, 90/12448, A1 (株式会社安川電機製作所)、18. 10月. 1990 (18. 10. 90), 特許請求の範囲第1項 & EP, 0423357, A1&US, 5134354, A	1-14

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示す  
もの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日  
以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行  
日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する  
文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって  
出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論  
の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明  
の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上  
の文献との、当業者にとって自明である組合せに  
よって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

## 国際調査を完了した日

29. 01. 01

## 国際調査報告の発送日

06.02.01

## 国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
紀本 幸

3V 8815

電話番号 03-3581-1101 内線 3316